ChinaXiv合作期刊

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

doi:10.13866/j.azr.2019.01.19

播娘蒿花部综合征与传粉模式的适应性研究①

买金梅， 牛 豆， 汤小港， 刘 航， 张爱勤
（新疆大学生命科学与技术学院，新疆 乌鲁木齐 830046）

摘 要： 被子植物中花部特征和形态多变性显示出对多种传粉模式的适应性。前期观测发现，早春短命植物播娘蒿(*Descurainia sophia*)因花小、不够醒目表现出与自花传粉相适应的花部特征，而花药状的花瓣、宿存的花萼似乎与吸引传粉者有一定的关系。为了探讨其花部综合征与传粉模式的相互关系，通过野外观测、人工控制试验等对其开花习性、花部特征、花瓣的广告效应和交配系统等进行了研究，结果表明：播娘蒿为兼性自交的交配系统类型，自交亲和但保持异交能力。晴朗天气，10:00 左右开放，17:00 左右闭合，花期 1～2 d；开放后的单花，雌蕊不断伸长，经历了低于雄蕊、与雄蕊等高和高于雄蕊 3 个阶段。播娘蒿有传粉者，但访花频率极低，分别为 (0.062 ± 0.027) flower · h^{-1} (2015 年) 和 (0.01 ± 0.005) flower · h^{-1} (2016 年)。控制试验显示花药状花瓣和宿存花萼不具有增强吸引传粉者的广告效应。播娘蒿柱头花粉主要来源于自花粉，自花粉的传递发生在雌蕊与两轮雄蕊分别等高的时期。播娘蒿极小的花、花药状花瓣、较低的胚珠比(*P/O* 值)等是花器官资源投入减少的结果，是与自花传粉模式相适应的繁殖对策。

关键词： 播娘蒿(*Descurainia sophia*)；交配系统；传粉模式；花部综合征

chinaXiv:201909.00118v1

花，被子植物的繁殖器官，比所有其他类群有机体的繁殖器官都表现出更高的变异性[1]。人们普遍认为花的形态学变异和花的组成显示出对多种授粉模式的适应性[2]。花的形态学特征与其生殖系统密切相关，通常一种植物花部特征的改变可能导致其传粉模式或交配系统的改变，同样，植物传粉模式或交配系统的改变也会伴随着花部特征的相应改变[3]。繁育系统从异交到自交的变化是被子植物最常见的一种转变[4]。Ornduff[5] 列举了十字花科 *Laevenworthia* 属中 32 种植物的花部特征与交配系统类型，指出从异花授粉到自花授粉是通过多种花形态学上的改变完成的。植物从异花授粉的交配系统类型向自花授粉的繁育系统类型过渡，常常会伴随着花大小尺寸的减少。不断减小花的大小和形态上的改变可调整繁育系统的演化途径，减少每朵花所需的能量，从而促进自花授粉[6]。

在十字花科 Cruciferae 芸薹亚族 Subtrib Brassicinae 中，花的组成在类群上表现出较大范围的变异性。Cruden[3] 对 119 株 53 种芸薹亚族植物花部特征参数进行了相关分析，发现该亚族可粗略分为两个类群：第一类主要与吸引传粉者相关联的花的大小形状有关，包括花的结构如花萼长、花瓣长、花梗长和花药长以及每朵花所含的花粉粒数目；第二类主要包括每朵花的胚珠数、柱头宽度等与生殖潜能相关的特性。表现出芸薹亚族中花部特征的变异分别在向吸引传粉者(异花授粉)和增强对生境的适应性两个方向演化(自花授粉)[3]。

基于花的形状及花粉和花蜜等花报酬特征，芸薹亚族的植物可归为 3 种类型：一是以白芥属 *Sinapis* 花形态为代表的种：具开放的、碟子状的花萼、花瓣和雄蕊，以及暴露的雌蕊和蜜腺；二是以芝麻菜属 *Eruca* 花形态为代表的种：具闭合的圆筒形花萼，花瓣和雌蕊卷入花萼之中紧紧围绕雄蕊；三是介于以上两种花型之间，以芸薹属 *Brassica* 花型为代表的杯状花萼的种[7]，并且在异花传粉的该亚族植物中，白芥属花型的种通常具较多的花蜜量和较少的单花花粉量；芝麻菜属花型的种具较少的花蜜量和较多的花粉；芸薹属花型的花粉数介于以上两种花型之间，具较多的花蜜和少量的花粉[8-10]，但花粉有较大变幅，部分种产大量花粉。这一花部特征反

① **收稿日期：** 2018-04-23； **修订日期：** 2018-08-06
基金项目： 新疆大学国家级大学生创新训练项目(201610755039)；国家自然科学基金"补血草属植物异型花柱的变异与演化研究项目"(31560183)资助
作者简介： 买金梅(1995-)，女，在读研究生，植物繁殖生态学. E-mail:1219231633@qq.com
通讯作者： 张爱勤. E-mail:zhangaq@xju.edu.com

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201909.00118v1

映了花的类型与每朵花的花粉粒数和花蜜量高度相关[11]。从芸薹亚族植物的花型及花朵酬物可以推测花蜜和花粉是吸引传粉者的两个主要因素[7],但也有一些种表现出花的大小和数目影响访花者的现象[12]。

播娘蒿(*Descurainia sophia*)为芸薹亚族播娘蒿属植物,在中国分布有2个种,新疆仅有播娘蒿1个种[13]。播娘蒿的花小、且不醒目而表现出自花授粉的花部特征(floral design),而花药状的花瓣、宿存的花萼似乎与花展示(floral show)又有一定的关系,增加了花部特征的独特性。播娘蒿花萼杯状,从花萼形状看可被归于芸薹属花型(具较多的花蜜和少量的花粉),该植物有怎样的繁育系统类型,是否具有芸薹属花型的综合特征,花形态的变异或演化与传粉模式有怎样的关系等是一个值得关注的问题。

为此,笔者从花部综合征、花瓣功能、植物交配系统类型等方面对其进行研究,回答以下问题:① 播娘蒿有怎样的花部特征和传粉模式;在缺乏传粉者的情况下如何实现自花粉的传递;② 播娘蒿有怎样的交配系统类型和繁殖方式;③ 花药状的花瓣和宿存的花萼是否具有吸引传粉者的广告效应。以此角度探讨早春短命植物花形态变异、繁育系统及繁殖对策间的相互关系。

1 材料与方法

1.1 研究地点和材料

研究地点位于乌鲁木齐市雅玛里克山的阳坡面(43°46′21″N,87°34′49″E,海拔:1 390 m),属温带荒漠性气候区,以荒漠植被为主,群落构成较简单。该地区年均降水量266.9 mm,年蒸发量2 731 mm,年平均气温7.5 ℃。

播娘蒿广泛分布于山间、林缘、荒漠、沙丘等,为一年生草本,株高15~80 cm,无限花序,边开花、边结实、边进行花芽的分化。每花序有多数单花构成,花小、花萼杯状,四强雄蕊,长角果,花果期5—7月。

1.2 研究方法

1.2.1 开花物候及开花习性　盛花期,在自然居群内随机标记一定数量即将开放的花序和单花,进行花序及单花开放动态的观察,记录花序开放的持续时间、单花寿命、开放特点、花粉散布情况及雌、雄蕊的生长状态,并对物候期进行观察。物候期的观测以居群10%左右的植株开花为初花期,50%左右的植株开花为盛花期,80%以上的植株已开放为末花期。

1.2.2 花部特征参数的观测　花大小参数的测量:盛花期,在自然居群中随机标记30个植株,每株选取雌蕊与低一轮雄蕊等高,雌蕊与高一轮雄蕊等高两种状态的单花各1朵,测量每单花的花萼长、花瓣长与宽、两轮雄蕊高度及雌蕊高度。其中,雌蕊的测定从子房基部到柱头,雄蕊从基部到花药,测量工具为游标卡尺(精度为0.02 mm)。

单花花粉量及胚珠数的测定:参照Cruden[6]的方法,标记15个植株,每株选取1~2朵即将开放且未散粉的单花,用70%的乙醇固定,带回室内统计各单花花粉量和胚珠数,并计算*P/O*值。*P/O*值的计算:*P/O*=单花花粉量/单花胚珠数[6]。

柱头花粉数的测量:盛花期,随机选取20个植株,每株标记当天开放的单花1~2朵,分别在雌蕊与短雄蕊等高、雌蕊与长雄蕊等高两种状态时取下标记单花,进行柱头花粉数的统计。同时,每株再标记没散粉的待开单花1~2朵,进行散粉前的去雄处理,4 h后取下处理单花进行柱头花粉数统计。

1.2.3 传粉者类群及访花频率的观测　2015—2016年的盛花期,在雅玛里克山自然居群中每天随机标记20个单株,每株选取6个花序,连续3 d分别做以下3种观测:① 标记同等高度、有类似花展示方式的花序2个,在观测前分别统计开放单花和具有宿存花萼的已开放单花的数量,对其中1个花序基部已开始有果实发育的花去宿存花萼,另1个花序作为对照;② 标记有较多单花开放的花序2个,统计开放单花数,分别对一侧正开放的花去花瓣,一侧不去花瓣为对照;③ 标记2个花序进行自然状态访花频率的观测,于晴朗无风天气在11:00—15:00,以0.5 h为一个时间段,连续观察并记录标记花序上单花被访次数,以及昆虫种类、昆虫访花时的行为及偏好,分析不同处理下昆虫的访花频率。

1.2.4 交配系统的检测　盛花期,在播娘蒿的自然居群内随机标记30个植株,每株标记单花10朵,分别进行以下5种处理:① 去雄人工异花授粉后套袋;② 去雄自然异花授粉;③ 孤雌生殖;④ 自动自花授粉;⑤ 自然状态传粉(对照),果实成熟后分别统计不同处理的结实率。

1.2.5 数据处理与分析　不同开花阶段花部特征参数及不同处理下访花频率的数据分析用独立样本

ChinaXiv合作期刊

t-test 进行。用单因素方差分析进行交配系统的数据分析。所有统计数据均用 SPSS 19.0 及 Excel 2010 处理、分析,并用平均值 ± 标准误表示。

2 结果与分析

2.1 开花物候及开花习性

2015—2016 年连续 2 a 对分布于雅玛里克山的播娘蒿的开花物候进行观测,发现该分布地点的播娘蒿在 4 月中上旬进入返青期,4 月下旬或 5 月初进入初花期,5 月中旬或下旬进入末花期,持续 20 d 左右,具有边开花边结实的特点,年生长期 50 d 以上,不同年份及地区之间物候期有较大波动,高海拔地区开花较晚,生长期也较长。

播娘蒿为无限花序,通常植株底部的花芽最早开放,依次由低到高,边开放边有花芽形成,每花序有单花数 10 ~ 30 个。单株花期持续时间约 10 d。一天中,所有待开单花一般在 9:00—10:00 时开放,17:00 时左右闭合,单花期 1 ~ 2 d。单花开放初期,花内两轮雄蕊都高于雌蕊(图 1a),随着雌蕊不断生长,依次经历与两轮雄蕊分别等高(图 1b)、高出雄蕊(图 1c)等过程。通过不断膨大与伸长,最终形成长角果。在雌蕊伸长过程中,11:00 时左右,花柱和低一轮雄蕊(短雄蕊)同高;16:00 时左右,和高一轮雄蕊(长雄蕊)同高。花粉的散布与开花同步,但在开花后的前几个小时散粉较快,其散粉动态如图 2。单花开放时间与当天气候条件表现出明显相关性,即晴朗天气开放较早,低温天气开放较晚、闭合较早。

2.2 花部特征参数的观测

播娘蒿的花部特征参数如表 1。其中,花萼长、花瓣长与宽、长雄蕊高度在开花过程中没有变化,表现出在雌蕊与长、短雄蕊分别等高的两个阶段无显著差异,而雌蕊一直处于伸长状态,短雄蕊有所伸长;播娘蒿单花花粉量为(4 263.21 ± 318.75)粒,胚珠数为(29.21 ± 1.09)粒。花粉、胚珠比(*P/O* 值)为 148.17 ± 10.67。

对不同阶段柱头花粉数进行测定显示:在雌蕊与短雄蕊等高阶段的柱头花粉数为(463.05 ± 30.25)粒,显著高于雌蕊与长雄蕊等高阶段的柱头花粉数[(319.24 ± 25.34)粒]。而去除雄蕊后的柱头花粉数为(13.6 ± 1.83)粒,显著低于上述两阶段



图 1 播娘蒿不同阶段开花状态及访花昆虫

Fig. 1 Flowerage and pollinators at different flowering stages of *Descurainia sophia*

表 1 播娘蒿不同开花阶段花部特征参数及柱头花粉数

Tab. 1 The floral characteristics parameters and the pollen grains on stigmas of *Descurainia sophia* at different flowering stages

花部特征参数	雌蕊与低一轮雄蕊等高/mm	雌蕊与高一轮雄蕊等高/mm	*t* 值	*P* 值
花萼长	2.79 ± 0.04a(*n* = 30)	2.73 ± 0.05a(*n* = 30)	0.832	0.409
高一轮雄蕊长	3.60 ± 0.06a(*n* = 30)	3.63 ± 0.06a(*n* = 30)	-0.341	0.734
低一轮雄蕊长	3.00 ± 0.04a(*n* = 30)	3.27 ± 0.08b(*n* = 30)	2.858	0.006
雌蕊长	2.98 ± 0.05a(*n* = 20)	3.67 ± 0.06b(*n* = 20)	8.941	0.000
花瓣宽	0.52 ± 0.01a(*n* = 30)	0.52 ± 0.01a(*n* = 30)	0.275	0.784
花瓣长	1.00 ± 0.02a(*n* = 30)	1.03 ± 0.02 a(*n* = 30)	1.25	0.229
柱头花粉数/粒	463.05 ± 30.25a(*n* = 20)	319.24 ± 25.34b(*n* = 29)	3.638	0.001

注:*n* 为样本数。相同参数的不同小写字母表示变量在 0.05 水平上差异显著;平均值 ± 标准误。

chinaXiv:201909.00118v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201909.00118v1

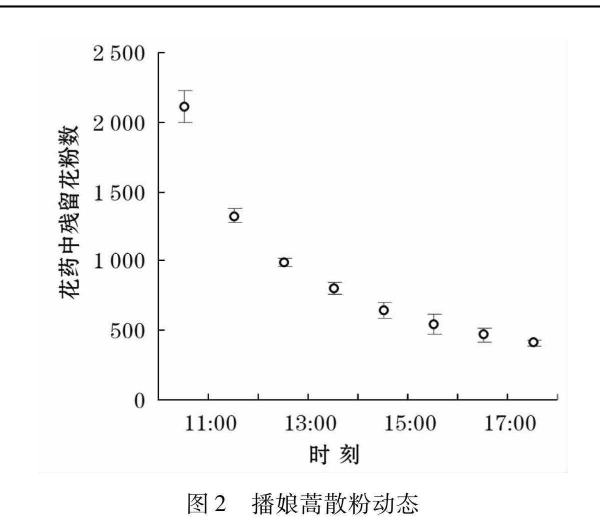


图 2 播娘蒿散粉动态

Fig. 2 Pollen grains remaining in anther of *Descurainia sophia* at different stages

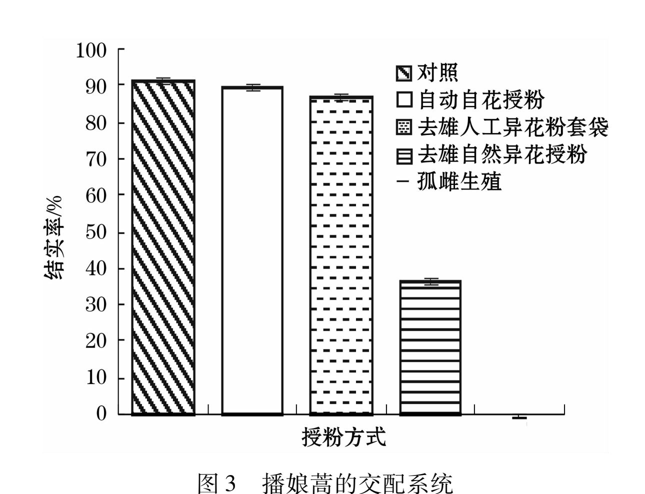


图 3 播娘蒿的交配系统

Fig. 3 The mating system of *Descurainia sophia*

自然状态的柱头花粉数，这一现象表明播娘蒿居群靠昆虫进行异花传粉的效率非常低，柱头花粉主要来源于雌蕊伸长过程中与两轮雄蕊接触时导致的自花粉滞落。

2.3 传粉者类群及访花频率的观测

2015—2016 年连续的观测发现，播娘蒿的主要访花昆虫有食蚜蝇、蜂类和蚂蚁，其中蚂蚁只在部分样方中出现，访问一些低矮的植株。在居群中所观察到的访花昆虫均以花蜜为食，整个居群中访花频率都比较低。在晴朗天气 10:00 时以后有昆虫出现，11:00—14:00 时，访花昆虫数量增多，15:00 时以后昆虫渐少。2015 年（79 h 的观测）的访花频率为（0.062 ±0.027）flower · h^{-1}；2016 年（53 h 的观测）的访花频率为（0.01 ± 0.005）flower · h^{-1}（t = 0.971，P = 0.336），年份间无差异。

通过对花序基部已闭合的花去宿存花萼；对正在开放的花去花瓣，同株花序为对照，进行访花频率和访花偏好的观测，结果显示 2015 年去宿存花萼（25 h 的观测）的访花频率（0.014 ±0.009）flower · h^{-1}与同株对照（25 h 的观测）的访花频率（0.085 ± 0.069）flower · h^{-1}无显著差异（t = −1.026，P = 0.328）；去花瓣（13 h 的观测）的访花频率（0.091 ± 0.077）flower · h^{-1}与同株对照（13 h 的观测）的访花频率（0.023 ±0.023）flower · h^{-1}也无显著差异（t = 0.848，P = 0.413）。

2016 年只进行了去花瓣的观测，其结果与 2015 年的观测一致，也表现出去花瓣（20 h 的观测）的访花频率〔（0.006 ±0.006）flower · h^{-1}〕与同株对照（20 h 的观测）的访花频率 0 无显著差异（t = 1，P = 0.423）。2 a 的观测结果表明，宿存花萼及花药状花瓣并无吸引传粉者的广告效应。

2.4 交配系统的检测

人工控制授粉实验结果显示（图 3），播娘蒿中无孤雌生殖现象，去雄人工异花授粉、自动自花授粉和自然结实率分别为（86.52% ± 1.02%）、（89.45% ±7.48%）和（91.26% ±0.83%）。均高于去雄自然异花授粉的结实率（36.11% ± 1.18%）。这说明尽管播娘蒿异交亲和，但异花传粉效率极低，其自然结实率主要源于自花传粉，以自交为主。

3 讨 论

3.1 花部综合征与传粉模式

自花传粉是被子植物从异交到自交转变的结果，也是繁育系统最常见的进化转变[14-15]。是植物在传粉者缺乏或不可预测的恶劣环境中保证繁殖成功的一种适应机制。尽管近交衰退被认为是阻止自交的主要因子，但是在异交无法发生的环境，自交依然会受到选择以保证胚珠的受精。植物在向自花传粉模式的转变过程中，花部形态的变异扮演着重要的角色[16-17]相对于异花传粉植物，自花传粉植物通常花很小、花瓣不醒目、雌雄蕊间隔较小、有着较低的 P/O 值、无花蜜或很少等[18]。

从播娘蒿的花部特征看，花很小，花瓣略大于花药，花萼绿色、杯状，花蜜微量（用毛细管测量不出花蜜量），均表现出自花授粉的特征。尽管单花花粉量高达（4 263.21 ±318.75）粒，但花粉、胚珠比（P/O 值 = 148.17 ±10.67）较低，从异花授粉到自

ChinaXiv合作期刊

花授粉常伴随着花型变小和花粉－胚珠比变低[3]。在十字花科中,花粉－胚珠比和每朵花能耗之间有着密切的相关性($r=0.587$),较高花粉－胚珠比的植株倾向于有着较高的花朵能耗,那些花朵能耗低的种常有着低的花粉－胚珠比[19],播娘蒿也不例外。

在异花传粉的芸薹族植物中,花蜜和花粉被认为是吸引授粉者的两个主要因素[7],表现出花的类型与每花的花粉粒数和花蜜量高度相关。为了检测播娘蒿花药状的花瓣是否是为了增加传粉者吸引的响应,笔者进行了人工控制条件下的传粉者观测,结果表明:与同株对照相比,去花瓣、去宿存花萼等处理都没有明显差异,说明播娘蒿花药状的花瓣、宿存花萼不具有增加传粉者吸引的作用。从花萼形态看,播娘蒿似乎可归到芸薹亚族植物中,但它由于以自花传粉为主,所以并不具有芸薹亚族植物中异花传粉植物展示给传粉者的特征,如大量花蜜和少量花粉[7]。

对播娘蒿交配系统进行检测显示,播娘蒿自动自交、人工自交、异交和自然对照都有着较高的结实率,但去雄自然异交的结实率(36.11% ±1.18%)却比较低。结合播娘蒿的开花动态、不同时期的柱头花粉数测定可以推断:尽管播娘蒿异交亲和,但自然居群较高结实率主要来自于自动自花授粉,并且表现出与自动自花授粉相适应的花部综合征。播娘蒿的花在开放当天,雌蕊高度从低于雄蕊到与雄蕊等高,经历了两次与雄蕊等高的机会(两轮雄蕊)。对去雄蕊、与两轮雄蕊分别等高3个阶段的柱头花粉数进行检测发现,去雄蕊阶段柱头花粉数(13.6±1.83粒)远低于与雄蕊等高的2个阶段[(463.05±30.25)粒,(319.24±25.34粒)]。说明播娘蒿的自花粉传递发生在雌蕊伸长过程中与两轮雄蕊分别等高的时期。从花粉散布动态(图2)及低一轮雄蕊在雌蕊伸长过程中也有所伸长(表1)这一现象看,自动自花传粉主要发生在与低一轮雄蕊等高的阶段。同时,低一轮雄蕊的伸长增加了与雌蕊等高的时间,有助于自花粉的传递。

3.2 花部综合征与交配系统的演化

自交的演化是促进物种形成的一个重要力量[16,20]。与专性异交相比,兼有自体受精能力的物种常有更广的地理分布。尽管自然界中大多数的被子植物倾向于异交,但植物由异交向自交转变的混合交配系统类型即兼性自交或兼性异交也很普遍[4,14,21],约33%的植物为自交和异交的中间类型[22]。混合性交配系统类型虽然分布在不同的科属中,但它也仅有几个可能的解释:自然选择的结果、受多变传粉环境的影响或处于自交演化的中间类型。在种群密度较低,传粉者缺乏,或者自交花粉比异交花粉更易获得使胚珠受精的机会时,自交会因为比异交具明显的优势而被选择[23-24]。也是自交或兼性自交得以进化的主要动力。对自交进化的研究主要倾向于两方面的选择优势,即繁殖保障效应[25-29]和自动选择优势[1,15]。

对播娘蒿的分布居群调查发现,播娘蒿居群主要分布在山间、林缘、荒漠、沙丘等地,这些地方多是传粉者相对贫乏或波动较大的生态区域,尤其是分布在荒漠、沙丘的居群,随着全球气候变暖,干旱事件的发生频率有明显上升趋势[30],荒漠气候的不稳定性也更加突出[31],这不仅加剧了传粉者的不稳定性,而且影响植物光合产物的积累。在这种情况下,自交成了快速完成繁殖过程的重要选择。同时,贫瘠的土壤,较低的光合产物迫使其减少所有器官的资源分配,包括花器官的减少,进而促进了自花传粉花部特征的演化。播娘蒿花药状的花瓣很可能是花器官资源减少的结果,是与自交交配系统相适应的花部形态的变异。

与交配系统相适应的花部综合征的演化与环境因素密切相关[32],选择压力往往可以促进传粉植物花部特征的演化,如:在分布区的边缘居群,往往会通过减小所有器官的资源分配而快速成熟;在居群中因为较大的花易被捕食,而使较小的花被选择;为了增加后代的资源分配,通过减少花萼或花瓣等吸引组织的资源分配,以降低花的广告效应[33]等。

花萼具有保护花芽和幼果的作用,有时又具有吸引传粉者的广告效应。在播娘蒿中,花萼在幼果期的存在可能具有保护幼果、通过光合产物为幼果提供营养物质的作用,而不具有吸引传粉者的作用。

致谢 翟雅芯、郑荣倩和吴宝参加了野外观测及数据的讨论分析,在此表示衷心感谢。

参考文献(References):

〔1〕 张大勇. 植物生活史进化与繁殖生态学〔M〕. 北京:科学出版社,2004.〔Zhang Dayong. Plant Life-History Evolution and Reproductive Ecology〔M〕. Beijing:Science Press,2004.〕

〔2〕 郁文彬,蔡杰,王红,等. 马先蒿属植物花冠分化与繁殖适应的

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201909.00118v1

研究进展[J]. 植物学报,2008,25(4):392－400.[Yu Wenbin, Cai Jie,Wang Hong,et al. Advances in floral divergence and reproductive adaptation in *Pedicularis* L. (Orobanchaceae)[J]. Chinese Bulletin of Botany,2008,25(4):392－400.]

[3] Cruden R W. Pollen grains:Why so many? [J]. Plant Systematics & Evolution,2000,222(1－4):143－165.

[4] Barrett S C H. The evolution of plant sexual diversity[J]. Nature Reviews Genetics,2002,3(4):274－84.

[5] Ornduff R. Reproductive biology in relation to systematics[J]. Taxon,1969,18(2):121－133.

[6] Cruden R W. Pollen-ovule ratios:A conservative indicator of breeding systems in flowering plants[J]. Evolution,1977,31(1):32－46.

[7] Takahata Y. Floral Variation in the Subtribe Brassicinae with Special Reference to Pollination Strategies and Pollen-Ovule Ratios [M]. Biology and Breeding of Crucifers,2009.

[8] Goukon K. The nectary of Cruciferae[J]. Saihu to Shiiku,1979,41:428－431.

[9] Free J B,Nuttall P M. The pollination of oilseed rape (*Brassica napus*) and the behaviour of bees on the crop[J]. Journal of Agricultural Science,1968,71(1):91－94.

[10] Pierre J,Mesquida J,Marilleau R,et al. Nectar secretion in winter oil seed rape,*Brassica napus*-quantitative and qualitative variability among 71 genotypes[J]. Plant Breeding,2010,118(6):471－476.

[11] Hinata K,Nishio T. Self-incompatiblity in Crucifers[J]. Brassica Crops and Wild Allies,1980:223－234.

[12] Conner J K,Rush S. Effects of flower size and number on pollinator visitation to wild radish,*Raphanus raphanistrum*[J]. Oecologia,1996,105(4):509－516.

[13] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1987:33,448.[Chinese Academy of Sciences,Chinese Ethnography Editorial Board. Flora of China[M]. Beijing:Science Press,1987:33,448.]

[14] 范惠玲,罗芳芳,黄雪莲,等. 芸芥自交亲和性变异的初步研究[J]. 植物学报,2015,50(5):598－604.[Fan Huiling,Luo Fangfang,Huang Xuelian,et al. Preliminary studies on the variation in self-compatibility among 52 cultivars of *Eruca sativa*[J]. Chinese Bulletin of Botany,2015,50(5):598－604.]

[15] Holsinger K E. Reproductive systems and evolution in vascular plants[J]. Proceedings of the National Academy of Science,2000,97(13):7 037－7 042.

[16] Foxe J P,Slotte T,Stahl E A,et al. Recent speciation associated with the evolution of selfing in *Capsella*[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2009,106(13):5 241.

[17] Wright S I,Kalisz S,Slotte T. Evolutionary consequences of self-fertilization in plants[J]. Proceedings Biological Sciences,2013,280(1 760):1－10.

[18] Sicard A,Lenhard M. The selfing syndrome:A model for studying the genetic and evolutionary basis of morphological adaptation in plants[J]. Annals of Botany,2011,107(9):1 433－1 433.

[19] Takahata Y,Konno N,Hinata K. Genotypic variation for floral characters in Brassica and allied genera with special reference to breeding system[J]. Breeding Science,2008,58(4):385－392.

[20] Duncan T M,Rausher M D. Evolution of the selfing syndrome in *Ipomoea*[J]. Frontiers in Plant Science,2013,4(1):301.

[21] Stebbins C L J. Variation and evolution in plants[J]. Kew Bulletin,1971,26(1):187.

[22] Vogler D W,Kalisz S. Sex among the flowers:The distribution of plant mating systems[J]. Evolution,International Journal of Organic Evolution,2001,55(1):202－204.

[23] Motten A F. Autogamy and competition for pollinators in *Hepatica americana* (ranunculaceae)[J]. American Journal of Botany,1982,69(8):1 296－1 305.

[24] Dole J A. Role of corolla abscission in delayed self-pollination of *Mimulus guttatus* (scrophulariaceae)[J]. American Journal of Botany,1990,77(11):1 505－1 507.

[25] Tedder A,Ansell S W,Lao X,et al. Sporophytic self-incompatibility genes and mating system variation in *Arabis alpina*[J]. Annals of Botany,2011,108(4):699－713.

[26] Buehler D,Graf R,Holderegger R,et al. Contemporary gene flow and mating system of *Arabis alpina* in a Central European alpine landscape[J]. Annals of Botany,2012,109(7):1 359－1 367.

[27] Lobréaux S,Manel S,Melodelima C. Development of an Arabis alpina genomic contig sequence data set and application to single nucleotide polymorphisms discovery[J]. Molecular Ecology Resources,2014,14(2):411－418.

[28] Amasino R. Floral induction and monocarpic versus polycarpic life histories[J]. Genome Biology,2009,10(7):228－230.

[29] Holsinger K E. Pollination biology and the evolution of mating systems in flowering plants[J]. Evolutionary Biology,1996,29:107－149.

[30] 轩俊伟,郑江华,刘志辉,等. 基于 SPEI 的新疆干旱时空变化特征[J]. 干旱区研究,2016,33(2):338－344.[Xuan Junwei,Zheng Jianghua,Liu Zhihui,et al. SPEI-based spatiotemporal variation of drought in Xinjiang[J] Arid Zone Research,2016,33(2):338－344.]

[31] 常兆丰,马中华,王大为,等. 民勤荒漠气候变化的不稳定性分析[J]. 干旱区研究,2016,33(3):601－608.[Chang Zhaofeng,Ma Zhonghua,Wang Dawei,et al. Instability of climate change in the Minqin desert area[J] Arid Zone Research,2016,33(3):601－608.]

[32] 许聪聪,崔洪霞,石雷,等. 荚蒾属植物花期物候对春季异常气象事件的响应[J]. 植物学报,2017,52(3):297－306.[Xu Congcong,Cui Hongxia,Shi Lei,et al. Response of flowering phenology of *Viburnum* to abnormal meteorological events[J]. Chinese Bulletin of Botany,2017,52(3):297－306.]

[33] Hiroshi T,Masashi O. Evolution of hierarchical floral resource allocation associated with mating system in an animal-pollinated hermaphroditic herb,*Trillium camschatcense* (Trilliaceae)[J]. American Journal of Botany,2006,93(1):134－141.

ChinaXiv合作期刊

Adaptability of Floral Syndrome and Pollination Pattern of *Descurainia sophia*

MAI Jin-mei, NIU Dou, TANG Xiao-gang, LIU Hang, ZHANG Ai-qin

(*College of Life Science and Technology*, *Xinjiang University*, *Urumqi* 830046, *Xinjiang*, *China*)

Abstract: Floral syndrome and morphological variability show the adaptability to a variety of pollination modes in angiosperms. *Descurainia sophia*, an early spring ephemeral plant species, possesses the floral design matching with self-pollination due to the small and inconspicuous petals, but the anther-shape-like petals and persistent calyxes seem to have a certain relationship with attracting pollinators. In order to explore the relationship between floral syndromes and pollination patterns, in this study the flowering habits, floral characteristics, advertising effect of petals, mating system and so on of *D. sophia*, a natural population in Xinjiang, were lucubrated based on the field observation and artificial control test. The results showed that *D. sophia* is a facultative selfer, self-compatible with a maintained capability to outcross. On a sunny day, the flowers bloom around 10:00 o'clock and closure around 17:00, and the florescence is for 1 – 2 days. After blooming, pistils grow continuously and experience three stages: they are lower than stamens, as high as stamens and higher than stamens. There are pollinators of *D. sophia*, but their visiting frequency is extremely low, and the visiting frequency was 0.062 ± 0.027 flower · h^{-1} in 2015 and 0.01 ± 0.005 flower · h^{-1} in 2016. There was no significant difference between the control experiment by removing petals and persistent calyxes and the contrast. Both of the anther-shape-like petals and persistent calyxes have no advertising in attracting pollinators. The pollen loads on stigmas mainly derived from self-pollen in *D. sophia*. The self-pollen transfer occurs at the two stages when pistils are the same as height of longer stamens and shorter stamens respectively. The tiny flower size, low *P/O* value and anther-shape-like petals may be the result of decrease of resources allocation invested in floral show and rewards, and also show the reproductive strategies of being compatible with self-pollination pattern.

Key words: *Descurainia sophia*; mating system; pollination pattern; floral syndrome

chinaXiv:201909.00118v1